



### 基于卫星导航与时空实体实现船舶轨迹分析系统

卢伟

#### Ship trajectory analysis system based on satellite navigation and spatio-temporal entity

LU Wei

引用本文:

卢伟. 基于卫星导航与时空实体实现船舶轨迹分析系统[J]. 全球定位系统, 2024, 49(3): 101–106. DOI: [10.12265/j.gnss.2024009](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024009)

LU Wei. Ship trajectory analysis system based on satellite navigation and spatio-temporal entity[J]. *Gnss World of China*, 2024, 49(3): 101–106.

DOI: [10.12265/j.gnss.2024009](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024009)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024009>

### 您可能感兴趣的其他文章

#### Articles you may be interested in

#### 面向BDS时空数据的多粒度时空模型构建研究

Research on construction of multi-granularity spatio-temporal data model based on BDS

全球定位系统. 2019, 44(6): 1–6

#### 基于GEE平台的1991—2020年环洱海地带土地利用时空变化分析

Analysis of spatio-temporal change of land use around Erhai Lake from 1991 to 2020 based on GEE platform

全球定位系统. 2021, 46(5): 17–25

#### GPS / MET中水汽转换参数本地化研究与时空特性分析

GPS/MET localized water vapor conversion parameters study and analysis of space-time characteristics

全球定位系统. 2020, 45(2): 80–84

#### IGS电离层产品的时空特性研究

Research on the Spatio Temporal Characteristics of IGS Ionospheric Products

全球定位系统. 2017, 42(1): 44–48

#### 甘肃省加权平均温度时空分布特征分析与模型建立

Spatial and Temporal Characteristics Analysis and Model Establishment of Weighted Average Temperature in Gansu Province

全球定位系统. 2018, 43(3): 70–76

#### 卫星导航应用标准分析研究

Analysis and research on application standards of satellite navigation

全球定位系统. 2020, 45(3): 115–118



关注微信公众号，获得更多资讯信息

DOI: 10.12265/j.gnss.2024009

# 基于卫星导航与时空实体实现船舶轨迹分析系统

卢伟

(北京博阳世通信息技术有限公司, 北京 100192)

**摘要:** 基于卫星导航、时空实体、网络地理信息系统 (web geographic information system, WebGIS)、空间数据库等技术, 对船舶的基础属性、实时位置、历史轨迹、关联关系、运行状态等关键信息进行抽取和实体重组, 构建了船舶实体资源, 建立了船舶轨迹可视分析系统, 提供了多源地图服务、轨迹数据管理、轨迹可视查询展示、轨迹时空分析展示、分析模型参数配置等功能, 实现了多来源、多时态、多元化船舶轨迹数据的统一管理和多维分析, 能够以时空实体、图表、地图等形式直观展示船舶要素特征和分析结果, 使船舶信息价值密度更高, 可查询、可分析性更强, 从而有效提高了船舶轨迹分析效率和准确性, 可为船舶轨迹分析业务及相关应用提供更先进更高效的服务支撑。

**关键词:** 卫星导航; 时空实体; 对象化建模; 船舶监管; 轨迹分析; 时空分析

**中图分类号:** P208 **文献标志码:** A **文章编号:** 1008-9268(2024)03-0101-06

## 0 引言

随着全球航运业的快速发展和卫星导航<sup>[1-2]</sup>、物联网等技术的突破, 船舶轨迹数据的获取愈发便捷和精确, 获取手段主要有北斗卫星导航系统 (BeiDou Navigation Satellite System, BDS)、GPS、船舶自动识别系统 (automatic identification system, AIS)<sup>[3]</sup>、传感器等, 呈现出大规模和快速增长的特点。船舶轨迹数据的管理和分析已成为海运监控管理系统不可或缺的重要组成部分<sup>[4]</sup>。针对船舶轨迹分析, 目前有一些研究成果, 如文献<sup>[5]</sup>研究了基于模型预测控制的轨迹跟踪控制方法, 提高了半潜式无人艇的导航轨迹跟踪精度; 文献<sup>[6]</sup>构建了基于船舶数据的轨迹挖掘方法及框架, 可以对特定海域内船舶运动密集区域进行分析, 并甄别船舶数据异常情况; 文献<sup>[7]</sup>设计了基于 AIS 数据的船舶活动分析方法, 实现了船舶活动轨迹分析、港口空间识别和船舶活动分析; 文献<sup>[8]</sup>提出了一种改进的船舶轨迹聚类算法, 能够有效提高轨迹聚类分析效率, 丰富船舶行为模式特征。然而, 目前的研究主要集中在对历史船舶轨迹挖掘分析, 缺乏实时船舶轨迹数据支撑与分析, 且仍然采用传统轨迹数据存储组织方式, 数据按照时间逐条存储, 相同船舶在不同时间点的轨迹数据存在大量重复, 导致数据

冗余严重; 缺乏空间数据库支撑, 多元异构船舶数据无法实现统一存储和管理, 从而影响空间查询分析效率; 缺乏对船舶实体信息的整合, 不同时间点的轨迹数据之间缺乏关联性, 船舶特征描述不够全面, 难以进行多维度分析和挖掘。

时空实体是一种基于时空数据和模型的技术, 通过以实体对象的方式将现实世界进行简化和抽象建模<sup>[9-10]</sup>, 可以无缝嵌入时空特性, 从时空实体的属性、时空参考、空间位置、关联关系<sup>[11-12]</sup>、组成结构<sup>[13]</sup>、行为特征<sup>[14-15]</sup>等方面对数据进行一体化描述和多维度表达, 能够揭示实体在时空过程中的变迁和演化规律, 有助于快速构建时空大数据的可视分析<sup>[16-17]</sup>场景, 为城市基建<sup>[18]</sup>、旅游出行<sup>[19]</sup>等各行业领域提供新一代的全空间<sup>[20-22]</sup>服务。

因此, 本文研究将卫星导航与时空实体应用于船舶轨迹分析业务中, 以时空实体形式进行船舶数据存储组织, 提升船舶数据价值, 建立集实时定位、轨迹回放、时空分析、高效查询于一体的船舶轨迹可视分析系统, 从而较好地解决上述问题。

## 1 总体思路

以船舶的 BDS/GPS 定位数据、AIS 数据及业务数据为基础, 建立船舶时空实体模型抽取基础属性、

收稿日期: 2024-01-12

资助项目: 国家自然科学基金 (42107491); 国家重点研发计划项目 (2016YFB0502302)

通信作者: 卢伟 E-mail: 445853745@qq.com

实时位置、历史轨迹、关联关系、运行状态等关键信息,重组生成船舶实体资源,采用空间数据库实现船舶实体、空间、属性等多元异构数据一体化组织与存储,以影像、矢量、数字高程模型(digital elevation model, DEM)等基础地理空间数据构建船舶轨迹分析的地理底图,实现船舶轨迹数据的实时接入与管理、可视化查询展示以及多维度时空分析,提升船舶轨迹精准管理分析能力。

## 2 关键技术

### 2.1 船舶时空实体建模技术

从时间、空间、属性三维度出发,剖析船舶对象本质,将船舶视为一个时空实体,采用时空实体技术对船舶数据进行实体化建模,针对船舶实体的多维度特征,制定六要素建模规则,对实体的属性特征、时空参考、空间位置、关联关系、组成结构、行为特征六个方面设计不同的映射函数,接入、解析现有各类数据源所提供的船舶数据,包括 BDS/GPS 定位数据、AIS 数据、属性数据、进出港报告等,基于建模规则系统地进行数据分析、特征要素抽取和实体重组,构建集实时与历史、时空与属性、静态与动态、直观与挖掘于一体的船舶实体,实现对船舶的动态变化进行描述和表示,形成具有特定应用性质的船舶实体资源,为船舶轨迹时空分析与可视化提供有效支持。船舶时空实体建模技术流程如图 1 所示。

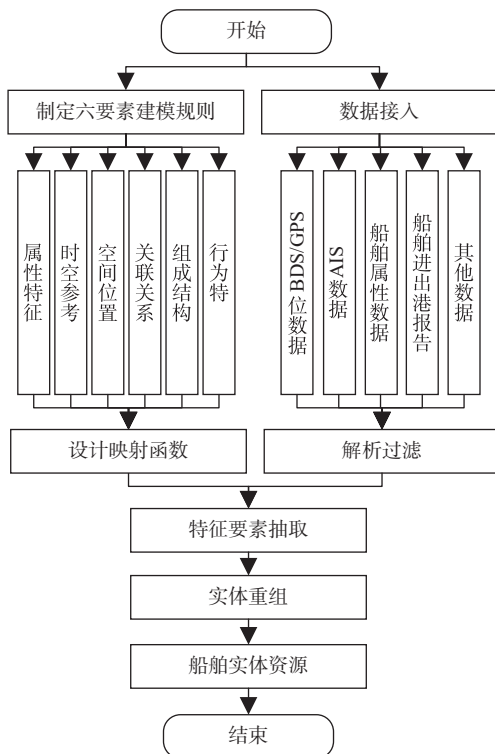


图 1 船舶时空实体建模技术流程

### 2.2 多元异构数据一体化组织存储技术

船舶轨迹分析业务中涉及地理空间数据、定位数据、轨迹数据、图片、文本文档、音/视频等多种数据类型。数据具有来源多元、粒度多样、模态丰富等特点,采用空间数据库建立多元异构船舶数据一体化组织存储模型,实现关系结构和对象结构的统一组织和访问,在保持上层功能稳定的前提下,最大化提升数据存取效率;将不同物理存储格式的数据在逻辑层面整合,实现不同数据对象的关联组织,为上层提供一体化的查询、检索和分析。

### 2.3 多维轨迹时空可视分析技术

基于船舶实体数据,通过时空索引、多维时空可视分析等技术,实现对船舶轨迹数据的快速查询、多维度分析与可视化展示,可以深入挖掘船舶的行驶模式、规律和异常行为,满足海上安全监管、物流运输优化等多个应用场景需求。

1) 时空索引构建:对船舶实体、图片、音/视频等数据建立时空索引,并借助关键词全文实现基于主题词或空间位置的船舶轨迹数据快速查询和检索。

2) 多维时空可视分析:采用聚类、分类、时空立方体分割等算法,对船舶轨迹数据进行停留点、伴随性、异常轨迹、周期性、航速与到达等多维度的分析和挖掘,以图表、地图等形式展示分析结果,以便更好地理解和分析轨迹数据,揭示船舶轨迹时空模式与规律。

## 3 系统框架

基于卫星导航与时空实体的船舶轨迹可视分析系统采用 Browser/Server(浏览器/服务器)结构。如图 2 所示,架构体系在逻辑上分为四个层次,自下而上分别为接入层、数据层、服务层和应用层。

接入层:负责接收和解析 BDS/GPS 车载终端、AIS、现有业务系统以及互联网开源网站等数据源所提供的数据,包括船舶实时定位数据、船舶轨迹数据、船舶多维属性数据、船舶进出港报告、基础地理空间数据等。

数据层:负责存储和管理系统各类数据,基于时空实体进行要素抽取和船舶实体资源重组生成,采用空间数据库实现船舶实体、空间、属性等多元异构数据的一体化组织与存储,建立船舶实体资源一个库,为轨迹分析提供资源保障。在数据底层建立全文索引和时空索引,提供多类访问接口,以提高上层应用的查询检索和数据访问效率。

服务层:是数据层与应用层之间的纽带,为系统

功能实现提供底层服务支撑,包括在线船舶地图实时定位服务、船舶实体轨迹生成计算服务、船舶轨迹时空分析与可视化服务、基础地理空间数据底图服务等,解决关键技术服务问题,确保系统稳定高效运行。

应用层:负责实现具体的业务逻辑和应用功能,包括多源地图服务、轨迹数据管理、轨迹可视查询展示、轨迹时空分析展示、分析模型参数配置等,实现了系统在船舶轨迹分析中的全面应用。



图 2 系统框架

## 4 系统主要功能实现

### 4.1 多源地图服务

采用多源电子地图形式,可无缝集成影像、行政区划矢量、海图、DEM等基础地理空间数据进行渲染展示,为轨迹查询与分析提供多源地图底图服务,能够根据分析场景需求自由切换地图底图,支持图层配置管理,实现更灵活的地理空间数据可视化。

### 4.2 轨迹数据管理

可以接入逗号分隔值 (comma-separated values, CSV) 格式的船舶实时或历史轨迹数据,入库过程中对轨迹进行数据清洗、分段等处理操作,能够按船舶类型以目录列表的形式分类显示,生成船舶目录树,包括作业船、高速轮、拖轮、客轮、货轮、油轮等,展示船舶的在线/离线状态,并支持轨迹数据的修改、删除和更新。

### 4.3 轨迹可视查询展示

通过船舶实体的属性、时空和关联关系等特征,构建了高效的时空关系搜索引擎,可以瞬时关联检索

到所需的船舶实体,并在地图上直观展示船舶的实时位置、历史轨迹和综合统计信息,为快速掌握船舶实时状态及历史轨迹信息提供快速通道。

#### 4.3.1 实时位置显示

可以基于二维地图同时展示所有在线船舶的实时位置,也可按船舶名称等关键字查询,对指定船舶在地图上进行实时定位显示,支持查看船舶实体的要素特征,包括基础属性、实时位置、时速、关联关系等,能够实时掌握在线船舶的位置和动态,提高船舶运营效率。

#### 4.3.2 历史轨迹回放

可按船舶名称、时间段等条件查询,采用图形符号与动作相结合的方式加载并展示单/多个船舶轨迹线,同时能够动态模拟回放船舶轨迹的行驶过程。在回放过程中,可以查看船舶的批号、类型、时间、速度、平均航速、对地航向、状态等信息,支持播放/暂停、倍速调控等操作,使轨迹回放过程更加生动、逼真。船舶历史轨迹回放如图 3 所示。

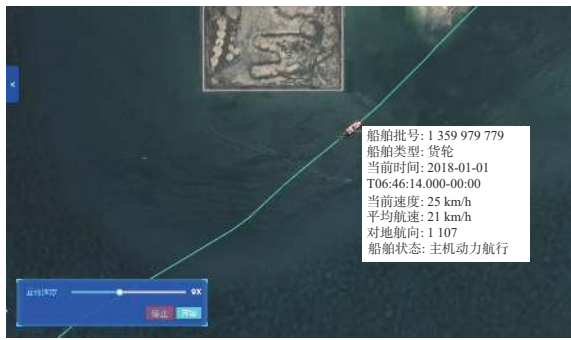


图 3 船舶历史轨迹回放

### 4.3.3 统计查询展示

可按船舶类型、时间、空间等不同条件进行灵活查询,能够精准统计并直观展示船舶数量、时空分析异常数量和报告数量等,提供对船舶数据的全面掌控和精准决策支持。

以 2018 年的 BDS 定位和 AIS 数据(格式为 CSV,数据量 20 GB,包含 183 922 000 条记录)为例,对传统轨迹数据组织方式和船舶实体数据组织方式的存储空间与查询效率进行了对比,结果如表 1 所示。

表 1 两种数据组织方式的存储空间与查询效率对比

对比项	存储空间/GB	数据量/条	查询指定船舶一天轨迹量 (3 229条)耗时/s	统计一天内船舶数量 (17 082只)耗时/s	统计指定区域一天内 船舶数量525只耗时/s
传统轨迹数据组织方式	57.0	183 922 000	0.344	3.000	189.000
船舶实体数据组织方式	8.2	647 900	0.051	0.013	0.081

由表 1 可知,传统轨迹数据组织方式对轨迹数据直接进行逐条存储,入库后数据量不变,但存储空间方面占用较大,而船舶实体数据组织方式对轨迹数据进行实体化后存储,能够有效减少数据冗余和存储空间的使用。在查询效率方面,船舶实体数据组织方式也具有明显优势,可以更快地查询指定船舶一天的轨迹量、统计一天内船舶数量以及指定区域一天内船舶数量,能够更好地满足实际应用中的需求。

## 4.4 轨迹时空分析展示

运用聚类算法、电子围栏等技术,对船舶轨迹数据进行多维度时空分析,包括停留点分析、伴随性分析、异常轨迹分析、周期性分析、航速与到达分析等。分析结果以图表等可视化形式在地图上展示,并可保存为便携式文档格式(portable document format, PDF)的时空分析报告,能够直观地了解船舶在时空维度上的行为模式、航行习惯、交通流等重要信息,从而为船舶运营、调度和安全等决策提供数据支持。

### 4.4.1 停留点分析

对指定船舶轨迹停留点进行深入分析,可以定位该船舶在航行过程中停留的位置,计算停留的时间长度,关联分析船舶进出港报告中停留的具体原因,如装卸货时间过长、等待泊位、船舶维修等原因导致了船舶的长时间停留,支持统计展示该船舶停留的位置、原因以及各因素占比情况等。船舶轨迹停留点分析展示如图 4 所示。



图 4 船舶轨迹停留点分析展示

### 4.4.2 伴随性分析

采用时空立方体分割方法对船舶轨迹进行伴随模式分析,判断其他船舶的轨迹与所指定的船舶轨迹是否存在相似性或伴随关系,并计算出伴随时间,支持在地图上展示伴随船舶的相关信息,包括伴随船舶批号、起止时间、位置等。船舶轨迹伴随性分析展示如图 5 所示。

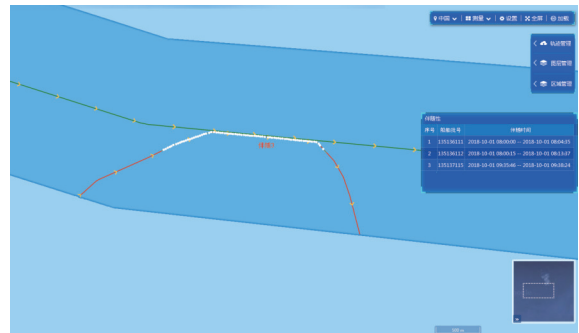


图 5 船舶轨迹伴随性分析展示

#### 4.4.3 异常轨迹分析

通过电子围栏技术,可以在地图上自定义绘制航线、港口、危险区、禁区等空间区域,设定相应的区域规则.能够对船舶进行异常轨迹监控与分析,判断出船舶违反规则的异常行为,如航线偏离、长时间停留、进入危险区/禁区等,并发送警报信息,保障航运安全.船舶异常轨迹分析展示如图6所示.

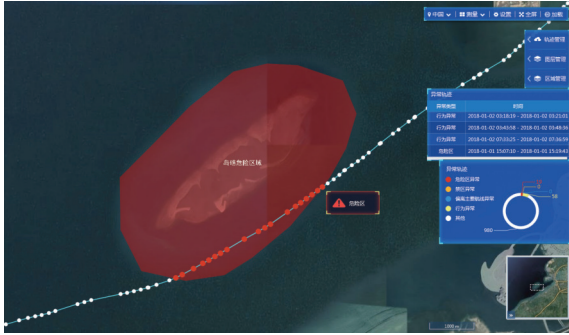


图6 船舶异常轨迹分析展示

#### 4.4.4 周期性分析

基于小时、天、周、月、年等时间尺度对指定船舶历史轨迹数据进行周期性分析,可以挖掘、识别出该船舶运动中停留点的重复和规律性行为,如某船舶固定航行路线每月频率,从而支持更有效的决策制定和运营优化.

#### 4.4.5 航速与到达分析

对指定船舶的航速和到达情况进行分析,以不同颜色在地图上展示该船舶轨迹在航行过程中的不同航速区间,获取当前该船舶的位置、航速等信息,与历史船舶轨迹的位置和航速进行匹配,分析该船舶所在的主要航线,预测到达的终点和时间,支持查看详细的航速信息,包括当前时间、当前时速、预计到港时间、到港距离等.

#### 4.4.6 时空分析报告生成

时空分析结束后,可以生成一份PDF格式的时空分析报告,报告采用总体描述、分析结果段落化、图片、表格等多种表达形式,使分析结果更加清晰易懂,并支持将报告保存到本地,方便后续查阅和使用.

### 4.5 分析模型参数配置

可以对轨迹时空分析中使用的算法参数进行配置和管理,能够根据具体的应用场景需求,针对不同的分析模型参数灵活地调整阈值,如时间、距离、角度、速度、航向等,以便获得更准确、可靠的分析结果,从而提升轨迹时空分析的效果和实用性.

## 5 结束语

本文对卫星导航和时空实体在船舶轨迹分析中

的应用进行了深入研究,阐述了时空实体的基本概念及其应用优势,设计并搭建了船舶轨迹可视分析系统.通过建立船舶实体模型和时空可视分析模型,实现了多来源、多时态、多元化船舶轨迹数据的统一管理和多维分析,能够以时空实体、图表、地图等形式直观展示船舶要素特征和分析结果,使船舶信息价值密度更高,可查询、可分析性更强,为船舶轨迹分析业务及相关应用提供更先进更高效的服务支撑.然而,目前系统主要应用于某市船舶轨迹管理,仍需进一步研究船舶行为预测模型,优化复杂场景下卫星导航定位算法精度,扩展轨迹时空分析算法,以满足更大规模的船舶轨迹分析需求,促进海运监控管理、船舶航行安全等多领域创新发展.

### 参考文献

- [1] 杜辉,陈倩. 卫星导航应用标准分析研究[J]. 全球定位系统, 2020, 45(3): 115-118.
- [2] 吴海乐. 基于格网化高精度卫星导航定位服务方法的网络RTK精度分析[J]. 全球定位系统, 2022, 47(2): 99-103.
- [3] 闫兆进,杨慧,慈慧,等. 船舶轨迹提取模型构建与交通流分析[J]. 地球信息科学学报, 2023, 25(11): 2134-2149.
- [4] 许贞平. 海洋运输船舶轨迹分析研究[J]. 中国水运, 2017, 17(2): 16-17.
- [5] 张丽珍,高浩,吴迪,等. 基于MPC的半潜式无人艇导航轨迹跟踪控制研究[J]. 全球定位系统, 2020, 45(3): 63-70.
- [6] 张炜林. 基于船舶数据的轨迹挖掘方法及框架构建[D]. 天津: 天津理工大学, 2022.
- [7] 李佳. 基于AIS数据的船舶活动分析方法研究[D]. 郑州: 战略支援部队信息工程大学, 2022.
- [8] 周海,陈姚节,陈黎. 船舶轨迹聚类分析与应用[J]. 计算机仿真, 2020, 37(10): 113-118,199.
- [9] 郭玮,谷宇航,江南. 面向多粒度时空对象数据模型的网络电子地图生成方法[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(7): 1264-1274.
- [10] 郭玮. 基于时空实体的电子地图生成方法与技术研究[D]. 郑州: 战略支援部队信息工程大学, 2022.
- [11] 张政,华一新,张晓楠,等. 多粒度时空对象关联关系基本问题初探[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9): 1158-1163.
- [12] 王健健,王艳楠,周良辰,等. 多粒度时空对象关联关系的分类体系与表达模型[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9): 1164-1170.
- [13] 李锐,石佳豪,董广胜,等. 多粒度时空对象组成结构表达研究[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(1): 113-123.
- [14] 曾梦熊,华一新,张江水,等. 多粒度时空对象动态行为表达模型与方法研究[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(1): 104-112.

- [15] 陈云海, 江南, 晔璐. 多粒度时空对象支持下湿地时空行为认知与表达初探 [J]. 测绘通报, 2020(2): 147-150.
- [16] 朱庆, 付萧. 多模态时空大数据可视分析方法综述 [J]. 测绘学报, 2017, 46(10): 1672-1677.
- [17] 邱强, 秦承志, 朱效民, 等. 全空间下并行矢量空间分析研究综述与展望 [J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9): 1217-1227.
- [18] 杨飞, 华一新, 李响, 等. 基于多粒度时空对象数据模型的城市基础设施建模与管理 [J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(11): 1984-1997.
- [19] 陈伟亮, 杜久升. 利用轨迹数据提取城市居民出行时空分布特征 [J]. 全球定位系统, 2022, 47(1): 103-110.
- [20] 华一新, 赵鑫科, 张江水. 地理信息系统研究新范式 [J]. 地球信息科学学报, 2023, 25(1): 15-24.
- [21] 江南, 方成, 陈敏颖. 全空间信息系统认知与表达初探 [J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(9): 1150-1157.
- [22] 周成虎. 全空间地理信息系统展望 [J]. 地理科学进展, 2015, 34(2): 129-131.

#### 作者简介

卢伟 (1988—), 女, 硕士, 工程师, 从事地理信息应用领域工作. E-mail: [445853745@qq.com](mailto:445853745@qq.com)

## Ship trajectory analysis system based on satellite navigation and spatio-temporal entity

LU Wei

(Beijing Beyond Information Technology Co., Ltd., Beijing 100192, China)

**Abstract:** Based on satellite navigation, spatio-temporal entities, web geographic information system (WebGIS), spatial databases, etc., key information on ship attributes, real-time positions, historical paths, associated relationships, and operating statuses has been extracted, leading to the construction of ship entity resources and the establishment of a ship trajectory analysis system. The system provides functions such as map services, trajectory data management, trajectory visual query display, trajectory spatio-temporal analysis display and analysis model parameter configuration. It enables management and analysis of multi-source, multi-temporal and diversified ship trajectory data, presenting ship element characteristics and analysis results, increasing information value density, and enhancing query and analytic abilities. Thus, it enhances the efficiency and accuracy of ship trajectory analysis, serving as a more effective support for ship trajectory analysis business and related applications.

**Keywords:** satellite navigation; spatio-temporal entity; object-oriented modeling; ship management; trajectory analysis; spatio-temporal analysis